

水利工程施工中混凝土防渗墙施工技术应用

冯洪亮

内蒙古河套灌区水利发展中心总干渠分中心 内蒙古 巴彦淖尔 015000

【摘要】：极端气候持续作用下水利工程坝基渗漏风险不断攀升，渗漏病害易诱发地基失稳与结构老化等隐患，防渗墙施工阶段普遍存在槽段开挖偏差、墙体成型管控缺位、材料配比失衡等问题，本文从地层勘察、设备选型、材料管控到浇筑施工搭建标准化路径，落实泥浆动态调控与连续浇筑等全过程措施，优化方案可缩减渗漏薄弱点位分布，提升地基抗渗性能，降低后期维修作业量，延长水工构筑物服役年限，为复杂地层防渗施工提供实操性支撑。

【关键词】：水利工程；混凝土防渗墙；槽段开挖；防渗施工；质量管控

DOI:10.12417/3083-5526.25.10.035

引言

水利基础设施长效运行对地基防渗体系提出更高标准，渗流侵蚀已成为制约堤坝、枢纽工程安全稳定的核心因素，传统防渗墙施工模式粗放，开挖、拌和、浇筑各环节管控漏洞持续衍生各类渗漏缺陷，依托现代化施工管控思路，结合地层条件优化全流程作业标准，补齐成型、开挖、材料三大施工短板，构建覆盖勘察、施工、成型的一体化管控体系，新工艺体系兼顾防渗性能与工程长期效益，契合水利工程长效运维发展理念，为同类防渗施工项目提供精细化技术实施思路。

1 水利工程混凝土防渗墙施工技术实施基础

混凝土防渗墙作为水利工程地下阻水核心结构，依托开槽、泥浆固壁、水下连续浇筑整套工序，于地层内部形成连续密闭隔水屏障，依靠混凝土自身致密结构阻断地下水渗流路径，施工前需依据场地岩土特性确定墙体厚度、嵌岩深度等基础参数，适配不同地层选用劈裂法、抓取法、二钻一抓法造孔工艺，搭配泥浆维持槽壁稳定^[1]。施工所用防渗混凝土需精准调控配比，搭配防渗功能材料控制渗透系数，墙体成型后可平衡坝体渗压，协调地基变形，适配软土覆盖层、砂石层、岩层等复杂地质，整套技术体系配套标准化设备与全过程监测手段，兼顾结构强度、抗老化性能与长期经济成本，为堤坝、枢纽工程构建完整长效防渗体系。

2 水利工程混凝土防渗墙施工现存影响要素

2.1 墙体成型质量管控短板

墙体成型阶段质量管控暴露多处实操漏洞，槽段接缝成为最突出薄弱环节，现场施工中搭接厚度不达标现象时有发生，接缝偏差超出 3cm 标准限值后将形成持续性渗流通道，接头管起拔时机难以精准掌控，起拔过早易引发槽壁坍塌，起拔滞后则管材与混凝土紧密粘结无法顺利拔出，进而破坏墙体连续性，清槽工序落实不到位时槽底堆积沉渣、接缝表面留存泥皮会割裂新旧混凝土结合面，大幅降低墙体整体密实度，浇筑过程导管理深波动幅度偏大，无法稳定维持 1 至 6m 合理区间，混凝土上升速度不均，相邻浇筑面高差超过 0.5m 时极易产生

夹泥、分层等内部缺陷，削弱墙体长期抗渗与结构承载能力。

2.2 槽段开挖作业操作偏差

槽段开挖作业全程依托人工经验管控，标准化操作落实不彻底容易形成各类尺寸与形态偏差，造孔工艺匹配不够合理，未能根据地层条件选用劈裂法、抓取法或二钻一抓法，大粒径砂石地层采用抓斗施工会造成孔壁破损，设备定位校准流于形式，钻机塔架垂直度缺乏持续监测，墙体垂直偏差逐渐扩大，相邻槽段有效搭接区域缩减，嵌岩施工缺少统一工艺参数，冲击频率与落距无标准化管控，岩层破碎深度不足，墙体与基岩衔接处留有缝隙，覆盖层开挖阶段泥浆补给不及时，土层渗浆引发孔壁失稳塌槽，槽体规整度无法满足混凝土连续浇筑的基础要求。

2.3 防渗材料配比把控不足

防渗混凝土材料调配环节管控力度不足，直接关系墙体渗透稳定性能的优劣，原材料进场检验流程简化后砂石、水泥、防渗外加剂筛选标准执行不严，杂质含量超标会破坏混凝土致密结构，配合比调试仅依赖固定参数，未能结合现场水温、地质渗流条件动态调整，水灰比失衡造成墙体孔隙增多^[2]。拌和阶段投料顺序与搅拌时长缺少硬性约束，功能防渗材料混合不够均匀，整体隔水效果随之下降，成型墙体渗透系数难以稳定控制在 $1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 以内，材料配比缺陷会延伸至全生命周期，长期水压作用下渗漏病害持续发展，大幅削弱防渗体系运行稳定性。

3 水利工程混凝土防渗墙施工优化实施路径

3.1 规范槽段开挖标准化作业流程

3.1.1 地层勘察精准勘测

地层勘察作为槽段标准化开挖的前置核心工作，其完整详实的地层数据能够为造孔工艺、泥浆指标、墙体嵌深等全部施工参数提供依据，勘测工作需覆盖施工全线范围，分层探明软土覆盖层、砂石层及基岩的分布厚度、土体密实度与地下水渗流特征，精准识别易漏浆、易坍塌的软弱夹层与坚硬岩层外露区域，勘测完成后依托地层数据搭建场地三维地质模型，据此

确定单槽段合理长度、墙体设计厚度以及嵌岩施工深度，针对透水性较强的砂卵石地层，勘测环节同步记录地层渗透特性，提前配置对应配比的膨润土泥浆，规避开挖过程中的孔壁失稳与泥浆渗漏等问题，勘察数据同步对接造孔工序，大粒径砂石地层规划劈裂法施工，浅层软土区域选用抓取法，从源头减少开挖尺寸偏差与嵌岩深度不足等质量隐患，保障后续槽段成型规整度满足防渗施工基础标准。

3.1.2 开挖设备适配选型

开挖设备选型需以勘测获取的地层条件作为核心依据，形成分层、分区差异化配置方案以保障槽段开挖精度与施工效率，含大块碎石、硬卵石的复杂地层优先配置钢丝绳冲击钻开展主孔施工，搭配抓斗设备完成副孔成型，采用二钻一抓组合模式平衡成孔速度与槽壁稳定性，均质软土、细颗粒地层可直接使用抓斗抓取法施工从而简化工序流程^[3]。设备进场后统一校准塔架、钻机定位仪器，加装实时偏移监测装置，施工全动态管控墙体垂直偏差，嵌岩施工区域配套岩层破碎辅助机具，标准化调控冲击落距与作业频率以保证墙体嵌入基岩达到设计深度，同时根据单槽开挖长度匹配对应起重、清渣设备，配套砂泵、清槽工具同步处理槽底沉渣，减少开挖阶段产生的孔壁破损与槽体尺寸超标等问题，为后续泥浆护壁及混凝土浇筑创造稳定施工条件。

3.2 优化防渗混凝土材料调配工艺

3.2.1 原材料筛选检验

原材料筛选检验是防渗混凝土整体隔水性能把控的第一道关口，所有进场原料均需落实全流程检测，杜绝不合格材料进入拌和工序，水泥须核查强度与安定性指标，骨料从严管控含泥量及颗粒级配，剔除片状、针状杂质颗粒以避免成型后墙体内部形成贯通孔隙，膨润土、防渗外加剂等功能性材料单独开展性能检测，确保泥浆护壁与混凝土致密化效果达标^[4]。各类原材料分区存放并做好防潮隔离防护，防止不同材料混杂影响性能，每批次材料留存检测试样，同步记录进场时间与规格参数以形成完整可追溯检验台账，骨料杂质超标或外加剂有效成分不足时将直接降低混凝土密实度、增大渗透系数，长期水压作用下墙体易出现渗水通道，标准化原材料检验能够从源头规避材料先天缺陷，稳定混凝土基础性能，为后续配合比调试与墙体防渗效果筑牢基础，适配各类地层防渗墙长期运行的耐久性要求。

3.2.2 配合比试验调试

配合比试验调试需结合现场地质水文环境与施工工艺开展多组平行试验，以确定适配现场工况的混凝土配比参数，试验阶段围绕水灰比、骨料占比、外加剂掺量进行梯度调试，兼顾混凝土流动性、初凝时长与防渗性能，保障浇筑过程中导管输送顺畅且成型后结构致密，水下浇筑工况下需控制浆液和易

性以避免混凝土离析、堵管，同时合理调整功能掺料占比以持续优化墙体抗渗能力，试验成型试块开展渗透与强度检测，将低渗透系数及结构强度双重指标作为配比判定标准，施工环境出现气温或地下水水位变动时同步微调配比参数，规避混凝土初凝速度失衡与内部孔隙增多等问题，确定标准配合比后留存试验报告，拌和作业严格按照配比计量投料并统一搅拌时长，确保整段槽体混凝土性能均匀一致，减少因配比波动引发的墙体分层与渗漏等质量缺陷。

3.3 完善墙体浇筑成型管控手段

3.3.1 泥浆护壁实时调控

泥浆护壁是维持槽段形态完整、防止塌孔漏浆的核心手段，施工全过程需建立动态调控机制，根据地层变化持续调整泥浆各项指标，开槽作业过程中不间断向槽内补充新鲜泥浆，依靠泥浆液柱压力平衡周边土体侧向压力，避免软弱覆盖层与砂层出现孔壁剥落，地层发生渗浆时及时补充膨润土改良泥浆，提升黏聚力与密封性以减少泥浆流失带来的槽壁失稳风险，清槽阶段同步循环置换槽底浑浊泥浆，降低沉渣堆积厚度并减少泥皮附着于槽壁及接缝位置，安排专人持续监测泥浆密度、黏度等关键参数，指标偏离合理区时立刻调整原料掺配比例，泥浆循环系统保持稳定运转以保障槽内液面高度稳定，液面大幅下降时及时补浆，从源头规避槽体变形与接缝夹泥等问题，为混凝土浇筑提供规整洁净的成型空间，保障墙体整体连续防渗能力。

3.3.2 混凝土连续浇筑管控

混凝土浇筑的连续性直接关系到墙体密实度与整体防渗效果，整套浇筑工序须执行标准化管控流程以杜绝中途停工带来的分层冷缝，浇筑前完成导管分段吊装定位并做好密封处理，浇筑过程中将导管埋深稳定控制在1至6米区间，防止泥浆混入混凝土内部形成渗漏夹层，浇筑速度保持匀速推进以保证槽内混凝土上升速率稳定，每间隔30分钟测量一次混凝土液面高度，控制相邻测点液面高差处于合理范围，孔口设置防护盖板阻挡杂物掉落，避免固体杂质埋入墙体形成薄弱通道，浇筑全程不间断供应混凝土以减少中断时长，接头管依照混凝土初凝节奏把控起拔时间，防止过早拔管塌槽或过晚无法拔出管材，完整连贯的浇筑管控能够消除墙体内部分层、夹泥及接缝松散等缺陷，稳定控制墙体渗透性能，延长防渗体系长期服役稳定性。如图1。

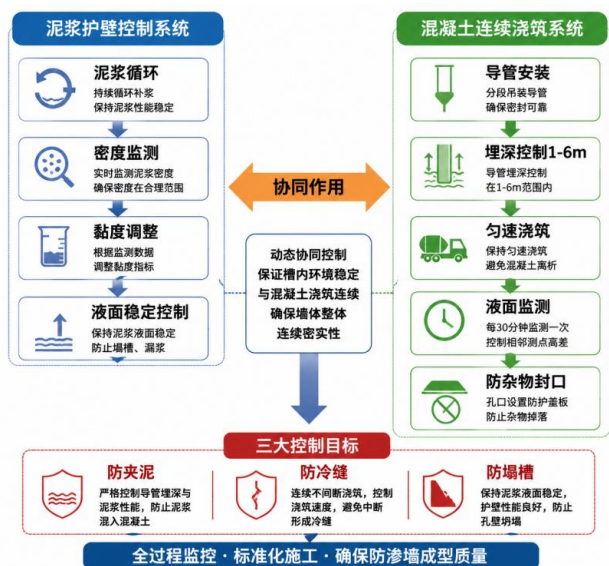


图1：泥浆护壁与混凝土连续浇筑协同控制系统流程图

4 混凝土防渗墙施工技术落地实践价值

4.1 提升水利工程整体防冲抵御能力

混凝土防渗墙借助地下连续密闭的混凝土结构阻断地下水渗流路径，配合标准化施工管控手段可形成完整贯通的地下防渗屏障，全面强化坝体与地基协同抗渗水平，墙体材料经配比优化后具备致密内部结构，能够有效降低地层渗透系数，阻挡水体沿土层及岩层缝隙持续渗透，针对软土覆盖层、砂卵石、基岩等不同地质条件，通过调整墙体厚度、嵌岩深度与槽段搭接尺寸，使防渗结构与周边岩土变形状态相互适配，避免因地层不均匀变形产生渗水缝隙^[5]。槽段开挖、泥浆护壁、连续浇筑等全流程标准化管控大幅减少接缝、槽底及墙体内部等多处薄弱渗漏点位，构建多层次立体防渗体系，有效分担坝体承受的渗透压力，从地基底层阻断渗流通道，全方位提升水利枢纽、堤坝等水工建筑物抵御渗透破坏的综合能力。

4.2 降低工程后期渗漏病害发生概率

渗漏病害大多源于槽段搭接不足、槽底沉渣堆积、混凝土

浇筑分层夹泥及泥浆泥皮残留等施工缺陷，落实成套优化工艺可从源头减少各类隐患，精准地层勘察与适配设备开挖能控制槽段尺寸偏差，规范原材料检验与配比调试保障混凝土密实度，实时泥浆调控与不间断连续浇筑减少夹层及冷缝等内部缺陷，施工过程严格把控接缝厚度、导管埋深及接头管起拔时间等关键参数，消除墙体主要渗流薄弱区域，完整连续的防渗墙体不会形成集中渗流通道，避免长期渗水持续冲刷土体引发管涌、流沙及地基掏空等次生病害，大幅减少投入运行后墙体渗水、坝脚湿渍及地基沉降变形等问题，降低后期频繁查漏与注浆补强等维修作业频率，长期维持防渗体系稳定运行状态。

4.3 延长水利主体构筑物服役周期

水体长期渗透持续侵蚀水工建筑物地基，带走土体颗粒后引发不均匀沉降、结构开裂与坝体失稳等问题，大幅缩减构筑物使用年限，混凝土防渗墙形成稳定隔水屏障后可隔绝渗流对坝基及堤身土体的持续侵蚀，减少地基土体流失与变形幅度，弱化水压与温湿度变化对主体结构的持续破坏，优化后的施工工艺提升了墙体整体强度、抗老化性能与结构连续性，墙体长期承受地下水压力而不产生破损开裂，降低主体结构承受的附加渗透荷载，减少渗漏病害同步降低构筑物维修与加固频次，避免反复修补对原有结构造成二次损伤，让堤坝、闸坝等水利主体结构长期维持稳定受力状态，有效拉长整体工程正常使用年限，提升工程全生命周期综合效益。

结语

水利工程防渗体系的稳定运行依托于混凝土防渗墙标准化施工管控体系，槽段开挖、材料调配与墙体浇筑环节存在的各类质量缺陷会直接削弱地下隔水屏障的完整性，地层精准勘测、设备适配选型、原料严格检验、泥浆动态调控及连续浇筑等优化措施可系统性补齐施工管控短板，整套工艺能够提升地基整体抗渗能力，减少长期渗漏病害，延缓主体结构侵蚀损伤，延长水工构筑物服役周期，相关标准化施工管控思路可为复杂地层水利防渗施工提供稳定可行的技术实施依据。

参考文献：

- [1] 刘晓亚,王强.混凝土防渗墙施工技术在水利工程施工中的应用研究[J].水上安全,2025,(22):166-168.
- [2] 韩伟.复杂地层水利工程混凝土防渗墙施工技术[J].科技创新与应用,2025,15(21):158-161.
- [3] 王小莉,李亚荣.防渗技术在水利工程施工中的应用分析[J].水上安全,2025,(6):157-159.
- [4] 高新颖,李秋生.水利工程施工中混凝土防渗墙施工技术探讨[J].水上安全,2023,(7):167-169.
- [5] 刘翠.水利工程塑性混凝土防渗墙施工裂缝防治技术[J].地下水,2023,45(3):275-277.